



TITLE:

トリプレット超伝導Sr<sub>2</sub>RuO<sub>4</sub>の  
物理量(比熱・帯磁率)の計算  
(2002年度基研研究会「軌道自由度  
を持つ強相関電子系の理論の進展

AUTHOR(S):

焼山, まゆみ; 長谷川, 泰正

---

CITATION:

焼山, まゆみ ...[et al]. トリプレット超伝導Sr<sub>2</sub>RuO<sub>4</sub>の物理量(比熱・帯磁率)の計算  
(2002年度基研研究会「軌道自由度を持つ強相関電子系の理論の進展」,研究会報告). 物  
性研究 2003, 79(6): 1005-1006

ISSUE DATE:

2003-03-20

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/97460>

RIGHT:

# トリプレット超伝導 $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$ の物理量（比熱・帯磁率）の計算

姫路工業大学大学院 理学研究科 焼山 まゆみ, 長谷川 泰正<sup>1</sup>

## 1 序論

$\text{Sr}_2\text{RuO}_4$  は、いくつかの実験から、転移温度が 1.5K のトリプレット超伝導体であることが分かっている。また、核磁気緩和率や、比熱、熱伝導率の測定から、フェルミ面のエネルギーギャップにラインノードがあると考えられている。しかし、それらの実験からは、ラインノードがフェルミ面に対して、どのように入っているかは、明らかにすることができない。

一方、非弾性中性子散乱実験から得られる動的スピン帯磁率  $\chi(\mathbf{q}, \omega)$  からは、ラインノードの詳細が分かる、と考えられている。今回は  $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$  のトリプレット超伝導状態の動的スピン帯磁率を数値的に計算し、その結果を報告する。合わせて、比熱の温度依存性についての結果も報告する。

## 2 比熱

$\text{Sr}_2\text{RuO}_4$  のフェルミ面は擬 2 次元円筒形をしており、それぞれ  $\alpha$  面、 $\beta$  面、 $\gamma$  面と名づけられた 3 枚の面から成っている。フェルミ面上のラインノードがどの面に入っているか、については明らかになっていないが、今回は 1 次元的バンド ( $\alpha$ 、 $\beta$  面) に入っている場合と、2 次元的バンド ( $\gamma$  面) に入っている場合の 2 通りについて比熱の温度依存性を見た。エネルギー分散はそれぞれのバンドにおいて、 $\varepsilon_{1\mathbf{k}} = -2t_1 \cos(ak_x) - \mu$ ,  $\varepsilon_{2\mathbf{k}} = -2t_1 \cos(ak_y) - \mu$ ,  $\varepsilon_{3\mathbf{k}} = -2t_3(\cos(ak_x) + \cos(ak_y)) - 4t' \cos(ak_x) \cos(ak_y) - \mu$  とした。比熱の温度依存性の計算結果は、図 (1)、(2) にある。実験のデータは、出口氏、前野氏よりいただいた。

## 3 動的スピン帯磁率

動的スピン帯磁率の虚部は、参考文献 [1] に与えられている形を使った。この帯磁率の虚部の値は、オーダーパラメータの形により、異方性が変わってくることが分かる。そこで、オーダーパラメータの形をいくつか考え、帯磁率の虚部のピークの出方を見る。

### 3.1 Case A

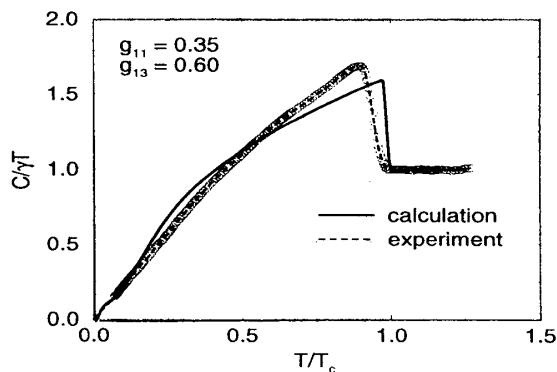


図 1: 1 次元バンドにラインノードがある場合の比熱

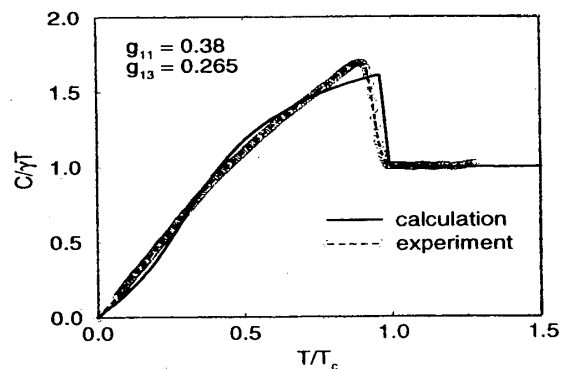


図 2: 2 次元バンドにラインノードがある場合の比熱

<sup>1</sup>E-mail: hasegawa@sci.himeji-tech.ac.jp

まずはじめに1次元バンドにはラインノードが入っていないとする、Case A を考える。この場合の1次元バンドのオーダーパラメータは  $d_{1z}(\mathbf{k}) = \Delta_1 \sin ak_x$ ,  $d_{2z}(\mathbf{k}) = i\Delta_1 \sin ak_y$  とおいた。ここで  $\Delta_1$  はエネルギーギャップの大きさである。 $a$ ,  $c$  は格子定数である。このオーダーパラメータによって得られた帯磁率の虚部を図 (3) に示す。

### 3.2 Case B

次に1次元バンドにラインノードがあるとするオーダーパラメータを想定した。具体的な形は  $d_{1z}(\mathbf{k}) = \Delta_1 \sin ak_x \cos ck_z$ ,  $d_{2z}(\mathbf{k}) = i\Delta_1 \sin ak_y \cos ck_z$  である。これは1次元バンドに  $\cos ck_z$  の依存性でラインノードが入っている、とするモデルである。これによって得られた帯磁率の虚部は図 (4) に示している。

### 3.3 Case C

最後に case B と同様1次元バンドにラインノードがある、というモデルをもう一つ掲げておく。オーダーパラメータは  $d_{1z}(\mathbf{k}) = d_{2z}(\mathbf{k}) = \Delta_1 \left( \sin \frac{ak_x}{2} \cos \frac{ak_y}{2} + i \cos \frac{ak_x}{2} \sin \frac{ak_y}{2} \right) \cos \frac{ck_z}{2}$  である。これは case B と違って、 $\cos \frac{ck_z}{2}$  の依存性でラインノードが入っている。帯磁率の虚部の  $\omega$  依存性は図 (5) にある。

## 4 まとめ

比熱については、1次元バンドにラインノードが入っている場合と、2次元バンドにラインノードが入っている場合の温度依存性を計算した。結果、形に大差はなく、比熱の測定結果からはラインノードの詳細については、断定するのが困難であることが分かる。

一方動的スピン帯磁率の計算では、ラインノードの位置により、変化が見られる。よって、ラインノードの詳細は、この動的スピン帯磁率から分かるのではないかと考えられる。帯磁率の虚部は非弾性中性子散乱の実験などから得られるので、今後実験がすすめば、理論の結果と比較することにより、ラインノードの詳細が分かるもの、と期待される。

## 参考文献

- [1] M. Yakiyama and Y. Hasegawa, cond-mat/0207193, to be published in Phys. Rev. B. およびその引用文献.

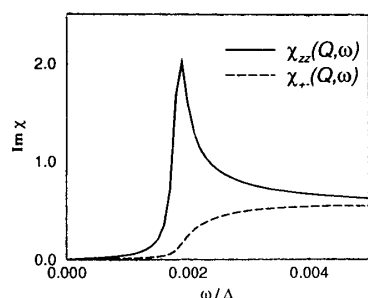


図 3: caseA

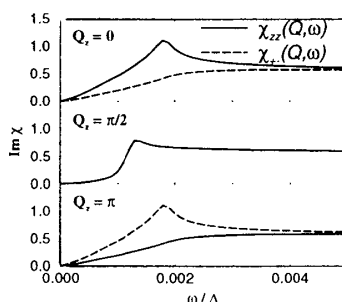


図 4: caseB

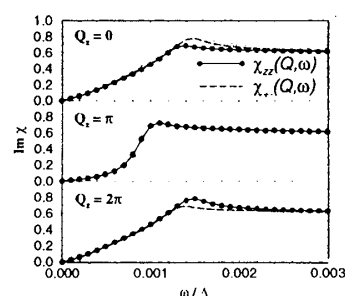


図 5: caseC